

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung und Anforderungen	2
1.2	Literaturüberblick	4
1.3	Ziele und Struktur dieser Arbeit	15
1.3.1	Einführendes Beispielsystem	16
1.3.2	Zielsetzung	19
1.3.3	Wissenschaftlicher Neuheitswert	24
1.3.4	Struktur	25
2	Methodische Grundlagen	27
2.1	Systembeschreibung mithilfe bipartiter Graphen	29
2.2	Datengrundlage	31
2.2.1	Ein-/Ausgangsdaten	31
2.2.2	Datenauswahl	32
2.3	Bestimmung struktureller Zusammenhänge	32
2.3.1	Ableitung des Ein-/Ausgangsverhaltens mithilfe des Zustandsmodells	33
2.3.2	Expertenwissen zur Definition von Zusammenhängen	33
2.3.3	Stochastische Zusammenhangsmaße	35
2.4	Parametrierung von Zusammenhängen	39
2.4.1	Differentialalgebraische Gleichungen	39
2.4.2	Probabilistische Hauptkomponentenanalyse	39
2.4.3	Gaußsches Mischmodell	41
2.5	Detektierbarkeit und Unterscheidbarkeit von Fehlerfällen	44
2.5.1	Kullback-Leibler-Divergenz	45
2.5.2	Detektierbarkeit und Isolierbarkeit	45
3	Fehlerdiagnose unter unbekannten stochastischen Störeinflüssen	47
3.1	Modellbasierte Residuengenerierung	48
3.1.1	Mathematisches Modell in Zustandsform	49
3.1.2	Paritätsgleichungen	49
3.1.3	Fehlerparametrierung	51
3.2	Datenbasierte Identifikation und Entkopplung latenter Variablen in Modellresiduen	51
3.2.1	Unsicherheitsbeschreibung mithilfe der Hauptkomponentenanalyse	52
3.2.2	Entkopplung von Unsicherheiten	53
3.3	Fehlerdetektion und -diagnose	54
3.3.1	Detektierbarkeit und Unterscheidbarkeit von Fehlerfällen	54
3.3.2	Dimensionalität der entkoppelten Residuen	55
3.3.3	Erkennung von Änderungen in den Residuen	56
3.3.4	Bayes Klassifikator	57

3.4	Beispielsystem adaptive Hochhausstruktur	57
3.4.1	Mechanische Struktur	60
3.4.2	Modalanalyse	60
3.4.3	Sensor- und Aktormodelle	61
3.4.4	Störmodelle	62
3.4.5	Zustandsmodell	64
3.5	Simulative Evaluation	65
3.5.1	Simulationsumgebung	65
3.5.2	Identifikation und Entkopplung von Störungen	67
3.5.3	Fehlerdiagnose	68
3.6	Bewertung des Ansatzes	76
4	Identifikation von Betriebs- und Fehlerzuständen	77
4.1	Bestimmung von Clustern	78
4.2	Unterscheidbarkeit von Clustern	78
4.3	Beispielsystem Vorbehandlungsanlage	79
4.4	Simulative Evaluation	80
4.4.1	Definition des Strukturgraphen	81
4.4.2	Bestimmung und Analyse der Cluster	82
4.4.3	Einfluss der Parameter	85
4.5	Experimentelle Validierung	88
4.5.1	Bestimmung und Analyse der Cluster	88
4.5.2	Einfluss der Parameter	92
4.6	Bewertung des Ansatzes	93
5	Anomalieerkennung	95
5.1	Aktive Systemanregung	96
5.2	Strukturidentifikation	98
5.3	Strukturparametrierung	100
5.4	Anomalieerkennung	101
5.4.1	Ähnlichkeitsmaß	101
5.4.2	Bestimmung der Anomalieschwelle	101
5.4.3	Ursachenanalyse von Anomalien	103
5.5	Beispielsystem Zuluftanlage	103
5.6	Simulative Evaluation	105
5.6.1	Strukturinformationen	105
5.6.2	Strukturparametrierung	107
5.6.3	Anomalieerkennung	108
5.6.4	Einfluss der Parameter	113
5.6.5	Einfluss der Trainingsdatenmenge und Vergleich zu zentralen Ansätzen	115
5.7	Experimentelle Validierung	116
5.7.1	Aktive Systemanregung	116
5.7.2	Strukturidentifikation	117

5.7.3	Strukturparametrierung	119
5.7.4	Anomalieerkennung	120
5.7.5	Einfluss der Parameter	124
5.7.6	Einfluss der Trainingsdatenmenge und Vergleich zu zentralen Ansätzen	125
5.8	Bewertung des Ansatzes	126
6	Berechnung und Vorhersage von Prozesswerten	127
6.1	Strukturparametrierung	128
6.2	Probabilistische Inferenz	129
6.2.1	Problembeschreibung	129
6.2.2	Mathematische Beschreibung mittels Gaußschen Mischmodellen . .	130
6.2.3	Berechnung und Vorhersage von Prozessgrößen	132
6.3	Beispielsystem industrieller Trockner	134
6.4	Experimentelle Validierung	136
6.4.1	Strukturinformationen	136
6.4.2	Strukturparametrierung	137
6.4.3	Berechnung von Temperaturverläufen	138
6.4.4	Berechnung unter Sensorfehlern und zeitliche Vorhersage der Temperaturverläufe	140
6.4.5	Einfluss der Parameter	142
6.5	Bewertung des Ansatzes	144
7	Identifikation von Qualitätszusammenhängen	145
7.1	Identifikation qualitätsrelevanter Merkmale und Prozessschritte	147
7.2	Berechnung der Wahrscheinlichkeit von Qualitätsproblemen	149
7.3	Beispielsystem Lackiererei	150
7.4	Simulative Evaluation	152
7.4.1	Identifikation qualitätsrelevanter Merkmale und Prozessschritte . .	154
7.4.2	Verteilte Prädiktion von Qualitätsproblemen	157
7.4.3	Einfluss der Parameter	161
7.5	Bewertung des Ansatzes	162
8	Zusammenfassung und Ausblick	163
A	Modellierung, Identifikation und Regelung der verfahrenstechnischen Anlagen	167
A.1	Aufheizdynamik der Karosserie	168
A.2	Anlage zur Vorbehandlung und kathodischen Tauchlackierung	168
A.2.1	Modellierung	169
A.2.2	Störgrößen	171
A.2.3	Fehlerfälle	171
A.2.4	Parameteridentifikation	172
A.2.5	Regelung	172

A.3 Zuluftanlage	173
A.3.1 Modellierung	173
A.3.2 Störgrößen	176
A.3.3 Fehlerfälle	177
A.3.4 Parameteridentifikation	178
A.3.5 Regelung	178
A.4 Trockner	180
A.4.1 Modellierung	180
A.4.2 Störgrößen	182
A.4.3 Fehlerfälle	182
A.4.4 Parameteridentifikation	182
A.4.5 Regelung	183
A.5 Stochastische Qualitätszusammenhänge	183
A.5.1 Modellierung	184
A.5.2 Parametrierung	185
Abkürzungsverzeichnis	187
Symbolverzeichnis	189
Abbildungsverzeichnis	197
Tabellenverzeichnis	201
Literaturverzeichnis	203